

DT 2758994

JUL 1979

51085

510853/22

KGS R14

GESL 30.12.77

KERNFORSCH KARLSRUH

\*DT 2758-994

30.12.77-DT-2758994 105.07.79/G01k-17 G21c-17

Heat flow sensor used in nuclear fuel rod simulators - with two thermoelectric junctions creating thermo emf proportional to temp. difference

A sensor to determine the heat flow across a solid is made of materials with an aggregate heat conductivity coefficient equal to that of the material replaced by it. Two thermoelectric junctions in the sensor produce a voltage gradient proportional to the temperature gradient from which the heat flow can be calculated.

USE

Measurement of the non stationary heat flow at the surface of electrically heated nuclear fuel rod simulators.

ADVANTAGES

This sensor does not interfere with the normal heat flow. It can be calibrated very accurately before it is built in.

DETAILS

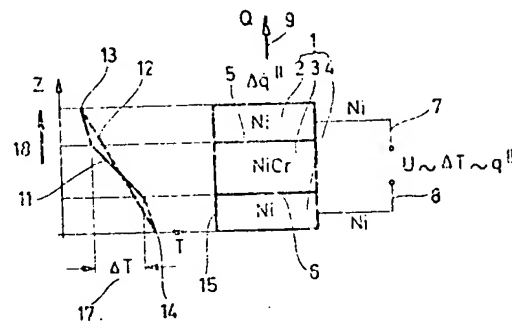
The sensor (1), preferably of cylindrical shape, is made up of three layers (2,3,4), joined by explosion bonding or friction welding. For up to 1000°C, the central layer (3) would be an NiCr alloy, and the outer layers (2,4) pure Ni.

K(5-B7).

10

Thermoelectrically active junctions (5,6) create a thermoelectric voltage  $U$  which can be read between the terminals of the nickel wires (7,8).

The heat flow  $Q$  can be calculated from the temperature drop which is proportional to  $U$  or by a calibration in a vacuum vessel (15pp39).



DT2758994

THIS PAGE BLANK (USPTO)

51

Int. Cl. 2:

G 01 K 17/00

19 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

G 21 C 17/00

DEUTSCHES PATENTAMT



DE 27 58 994 A 1

11

# Offenlegungsschrift 27 58 994

21

Aktenzeichen:

P 27 58 994.2

22

Anmeldetag:

30. 12. 77

43

Offenlegungstag:

5. 7. 79

30

Unionspriorität:

32 33 31

54

Bezeichnung:

Meßfühler zum Bestimmen von Wärmeströmen durch ein festes Medium

71

Anmelder:

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, 7500 Karlsruhe

72

Erfinder:

Malang, Siegfried, Dipl.-Ing., 7514 Linkenheim

DE 27 58 994 A 1

2758994

KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE GMBH

Karlsruhe, den 30.12.1977  
PLA 7775 Sdt/jd

Patentansprüche:

1. Meßfühler zum Bestimmen von Wärmeströmen durch ein festes Medium wie z. B. die gekühlte Wandung eines Heizstabes nach dem Verfahren, bei welchem unter Anordnung von zwei in definiertem Abstand angeordneten Thermoelementen ein Temperaturgradient des Mediums gemessen und daraus der Wärmestrom ermittelt wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßfühler aus einem, in das vom Wärmestrom durchsetzte Medium bzw. die Wandung einsetzbaren und mit dieser bündigen Körper (1) besteht, dessen integrierte Wärmeleitzahl gleich der Wärmeleitzahl des für den Einbau aus dem Körper entnommen Materialvolumens ist und innerhalb welchem mindestens zwei Thermoelektrisch wirksame Berührungsstellen (5, 6) zweier thermoelektrischer Materialien mit den entsprechenden elektrischen Zu- und Ableitungen vorhanden sind, die in Richtung des Temperaturgefälles bzw. des Wärmestromes in Abstand voneinander angeordnet sind und daß die Mantelfläche (15) des Körpers (1) gegenüber der Wand (10) isoliert ist.
2. Meßfühler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich zwischen den thermoelektrischen Berührungsstellen (5, 6) eine, das Temperaturgefälle im Fühlerkörper (1) beeinflussende Materialschicht (3) befindet.
3. Meßfühler nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialschicht (3) für beide thermoelektrische Stellen (5, 6) den einen Materialpartner gemeinsam bildet.
4. Meßfühler nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß auf die Materialschicht (3) als gemeinsamer Materialpartner auf beiden Seiten -in Richtung des Wärmestromes gesehen- jeweils eine Schicht (2, 4) des anderen Materialpartners mittels Explosions-, Reibschweißung oder dergleichen aufplattiert ist.



2758994

2.

5. Meßfühler nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Körper (1) des Meßfühlers von kreiszylindrischer Form ist, aus mehreren übereinander liegenden Schichten (2, 3, 4) der thermoelektrischen Materialien zusammengesetzt ist und daß im Inneren des Körpers (1) eine längszylindrische Bohrung (22) vorhanden ist, in welcher die Zuleitungen (23, 24, 25) zu dem Meßfühler an die beiden äußeren Schichten (2, 4) desselben angeschlossen sind.
6. Meßfühler nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuleitungen aus einem, seitlich oder durch die Stirnwände in die Bohrung (22) geführten mehrleitrigen ummantelten Thermoelement (26) bestehen, dessen Schenkel (23, 24, 25) aus den selben Materialien sind, aus denen die Schichten (2, 3, 4) aufgebaut sind.
7. Meßfühler nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Schenkel (23, 24) des Thermoelementes (26) aus den Materialien bestehen, aus denen die beiden äußeren thermoelektrischen Schichten (2, 4) bzw. Partner im Fühlerkörper (1) bestehen und an diese angeschlossen sind.
8. Meßfühler nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß im Thermoelement (26) ein weiterer Leiter (25) vorgesehen ist, der aus einem anderen thermoelektrischen Material, vorzugsweise aus dem der mittleren Schicht (3) besteht und der an einen der beiden anderen thermoelektrischen Partner bzw. Schichten (4) thermoelektrisch unter Bildung einer weiteren thermoelektrischen Stelle angeschlossen ist.
9. Eichvorrichtung für einen Meßfühler nach Anspruch 1 bis 8, bestehend aus einem Vakuumgefäß, in welchem sich eine Heizung befindet und in welches der Meßfühler einbringbar ist, wobei die Anschlüsse desselben aus dem Gefäß geführt sind, dadurch gekennzeichnet, daß der Fühler (1) auf die Stirnfläche eines, die Heizung bildenden Heizstabes (31) aufsetzbar ist, daß Fühler (1) und Heizstab (31) von einem zusätzlichen Strahlungsschild (32) im Inneren des Vakuumgefäßes (30) umgeben sind und daß ein Stab (33)

2758994

. 3 .

zur Wärmeableitung aus dem Gefäß (30) nach außen vorhanden ist, der mit dem Fühler (1) auf dessen, dem Heizstab (31) abgewendeten Ende bzw. dessen oberer Schicht (2) in Verbindung steht.

KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE GMBH

Karlsruhe, den 30.12.1977  
PLA 7775 Sdt/jd

2758994

. 4 .

Meßfühler zum Bestimmen von Wärmeströmen  
durch ein festes Medium.

---

- 1 -

909827/0479

**Beschreibung:**

Die Erfindung betrifft einen Meßfühler zum Bestimmen von Wärmeströmen durch ein festes Medium wie z. B. die gekühlte Wandung eines Heizstabes nach dem Verfahren, bei welchem unter Anordnung von zwei in definiertem Abstand angeordneten Thermoelementen ein Temperaturgradient des Mediums gemessen und daraus der Wärmestrom ermittelt wird.

Bei vielen Aufgaben müssen Wärmeströme im Inneren oder an der Oberfläche von Körpern experimentell bestimmt werden. Sieht man von der sehr integralen Methode der Wärmebilanzierung ab, so kommen grundsätzlich zwei verschiedene Verfahren zum Einsatz:

**a) Messung des Temperaturgradienten.**

Soll z. B. der Wärmestrom bestimmt werden, der von der Rohrwand auf das im Inneren des Rohres strömende Medium übertragen wird, so werden üblicherweise zwei getrennte Thermoelemente in verschiedenem Abstand von der inneren Rohroberfläche in die Rohrwand eingebaut. Aus der Differenz der beiden Temperaturen, dem Abstand der Meßstellen und der Wärmeleitfähigkeit der Rohrwand, wird der Wärmestrom berechnet. In vielen Fällen scheitert jedoch diese Methode an zu kleinen Abmessungen und an der erzielbaren Genauigkeit.

Soll z. B. ein Wärmestrom von  $5 \text{ W/cm}^2$  mittels zweier im Abstand von einem Millimeter angeordneter Thermoelemente bestimmt werden, so beträgt in einer Edelstahlwand die zu messende Temperatur ca.  $2,5^\circ \text{K}$ . Wird bei einer Temperatur von  $500^\circ \text{C}$  jede der beiden Temperaturen mit einer Genauigkeit von  $\pm 1^\circ / 100$  bestimmt, so entsteht durch diese Toleranz alleine eine Unsicherheit im Wärmestrom von  $\pm 40\%$ . Eine zusätzliche Ungenauigkeit entsteht bei der Bestimmung des Abstandes der Meßstellen, welche sich zerstörungsfrei nur grob und auch beim Anfertigen eines Querschliffs der Rohrwand höchstens auf  $\pm 0,05 \text{ mm}$  bestimmen läßt. Hierzu kommt noch die Störung des Wärme flusses durch die Thermoelemente. Aus diesen Gründen ist das Verfahren nur bei großen Wärmeströmen und relativ dickwandigen Rohren mit ausreichender Genauigkeit anwendbar.



- b) Messung der Temperatur an einer Stelle und Bestimmung des Wärmestroms durch Lösen des sogenannten inversiven Wärmeleitproblems.

Dieses Verfahren ist nur bei eindimensionalen Problemen anwendbar.

Soll z. B. der instationäre Wärmestrom an der Oberfläche eines Stabes bestimmt werden, so wird meistens ein Thermoelement in die äußere Schicht des Stabes eingebaut und hiermit der zeitliche Temperaturverlauf dicht unter der Staboberfläche gemessen. Das Temperaturprofil im Stab wird berechnet unter Berücksichtigung des Stabaufbaues einschließlich evtl. Kontaktzahlen zwischen verschiedenen Schichten. Durch zeitschrittweise Variation des Wärmestromes wird derjenige Wärmestrom bestimmt, bei dem die für den Ort des Thermoelementes berechnete Temperatur mit der gemessenen übereinstimmt. Bei der Lösung dieses inversiblen Wärmeleitproblems treten häufig numerische Instabilitäten auf, deren Vermeidung einen beträchtlichen Aufwand erfordert und die Genauigkeit beeinträchtigt.

Am wesentlichsten beeinträchtigt wird jedoch die Genauigkeit dieses Verfahrens durch eine mangelhafte Kenntnis des thermischen Verhaltens des Stabes. Besonders die Kontaktzahlen sind mit einer großen Unsicherheit behaftet.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es nun, einen möglichst kleinen Meßfühler zu schaffen, welcher in eine Wand eingebaut werden kann, den Wärmestrom in der Wand möglichst wenig stört und eine elektrische Spannung liefert, die proportional dem Temperaturabfall über eine definierte Schichtstärke ist. Dabei soll der Fühler vor dem Einbau eichbar sein. Vorzugsweise soll der Meßfühler zur Messung des instationären Wärmestroms an der Oberfläche von ballonförmigen Verdickungen an elektrisch beheizten Brennstab- .  
simulatoren verwendbar sein.

Diese Aufgabe wird bei einem Meßfühler der eingangs erwähnten Art dadurch gelöst, daß der Meßfühler aus einem, in das vom Wärmestrom durchsetzte Medium bzw. in die Wandung einsetzbaren und mit dieser bündigen Körper besteht, dessen integrierte Wärmeleitzahl gleich der Wärmeleitzahl des für den Einbau aus dem Körper entnommenem Materialvolumens ist und innerhalb welchem mindestens zwei thermoelektrisch wirksame Berührungsstellungen zweier thermoelektrischer Materialien mit den entsprechenden elektrischen Zu- und Ableitungen vorhanden sind, die in Richtung des Temperaturgefälles bzw. des Wärmestromes in Abstand voneinander angeordnet sind und daß die Mantelfläche des Körpers gegenüber der Wand isoliert ist.

Wesentlich für die Erfindung ist weiterhin, daß sich zwischen den thermoelektrischen Berührungsstellen eine, das Temperaturgefälle im Fühlerkörper beeinflussende Materialschicht befindet und daß diese Materialschicht für beide thermoelektrische Stellen den einen Materialpartner gemeinsam bildet.

Von Vorteil ist es weiterhin, daß auf die Materialschicht als gemeinsamem Materialpartner auf beiden Seiten -in Richtung des Wärmestromes gesehen- jeweils eine Schicht des anderen Materialpartners mittels Explosions-, Reibschweißung oder dergleichen aufplattiert ist.

Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß der Körper des Meßfühlers von kreiszylindrischer Form ist, aus mehreren, übereinanderliegenden Schichten der thermoelektrischen Materialien zusammengesetzt ist und daß im Inneren des Körpers eine längszylindrische Bohrung vorhanden ist, in welcher die Zuleitungen zu dem Meßfühler an die beiden äußeren Schichten angeschlossen sind. Dabei ist es von besonderem Vorteil, daß die Zuleitungen aus einem seitlich oder durch die Stirnwände in die Bohrung geführten mehrleitrigen, ummantelten Thermoelement bestehen, dessen Schenkel aus dem selben

Material bestehen, aus dem die Schichten aufgebaut sind. Dabei bestehen in vorteilhafter Weise zwei Schenkel des Thermoelements aus dem Material, aus dem die beiden äußeren thermoelektrischen Schichten bzw. Partner im Fühlerkörper sind und sind an diese angeschlossen.

Zur Bildung einer weiteren Meßstelle im Fühler, mittels welchem die Temperatur im Fühler zusätzlich bestimmt werden kann, wird vorgeschlagen, daß im Thermoelement ein weiterer Leiter vorgesehen ist, der aus einem anderen thermoelektrischen Material, vorzugsweise aus dem der mittleren Schicht besteht und der an einen der beiden anderen thermoelektrischen Partner bzw. Schichten thermoelektrisch unter Bildung einer weiteren thermoelektrischen Stelle angeschlossen ist.

Ein besonderer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht in der Eichbarkeit des Meßfühlers. Dafür schlägt die Erfindung eine Eichvorrichtung vor, die aus einem Vakuumgefäß besteht, in welchem sich eine Heizung befindet und in welches der Meßfühler einbringbar ist, wobei die Anschlüsse desselben aus dem Gefäß geführt sind. Besonders vorteilhaft an dieser Vorrichtung ist dabei, daß der Fühler auf die Stirnfläche eines, die Heizung bildenden Heizstabes aufsetzbar ist, daß Fühler und Heizstab von einem zusätzlichen Strahlungsschild im Inneren des Vakuumgefäßes umgeben sind und daß ein Stab zur Wärmeableitung aus dem Gefäß nach außen vorhanden ist, der mit dem Fühler auf dessen, dem Heizstab abgewendeten Ende bzw. dessen oberer Schicht in Verbindung steht.

Durch die Bildung von zwei Thermopaaren mit metallischer Verbindung mehrerer Schichten ist es möglich, somit den Potentialunterschied zwischen zwei Schichten abzugreifen und daraus ein direktes Maß für die integral durch den Fühler strömende Wärmemenge zu erhalten. Der Raumbedarf des Fühlers und der Aufwand zum Einbau sind wesentlich geringer als bei den eingangs beschriebenen Methoden. Da der Temperaturabfall direkt gemessen und nicht mehr aus der Differenz zweier gemessener Temperaturen bestimmt werden muß, ist die Genauigkeit vor allem bei

kleinen Wärmeströmen entscheidend größer. Darüber hinaus läßt sich der Fühler sehr einfach und genau eichen.

Weitere Einzelheiten werden im folgenden anhand der Figuren näher erläutert:  
Die Figur 1 zeigt das Prinzip des Meßfühlers,  
die Figur 2 den Einbau desselben in eine Wand bzw. in einen Körper und  
die Figur 3 eine schematische Eichvorrichtung für den Fühler.

In der Figur 1 ist das Prinzip eines erfindungsgemäßen Meßfühlers dargestellt. Der Körper 1 des Fühlers ist vorzugsweise von kreiszylindrischer Form und aus den drei übereinanderliegenden Schichten 2, 3 und 4 aufgebaut. Bei einem Fühler für den Einsatzbereich bis zu etwa  $1000^{\circ}$  besteht die mittlere Schicht 3 aus einer Nickel-Chrom-Legierung, die beiden äußeren Schichten 2 und 4 aus Reinnickel. Ein solcher Fühler ist für die Wärmestrommessung in Brennelement-Hüllrohren für Schnelle Brutreaktoren vorgesehen, welche aus Chrom-Nickel-Stählen gefertigt sind. Die drei Schichten 2, 3 und 4 des Fühlers sind durch Explosionsschweißen miteinander verbunden, so daß an den Verbindungsstellen der äußeren Schichten 2 und 4 mit der mittleren 3, zwei thermoelektrisch wirksame Stellen bzw. Berührungsschichten 5 und 6 entstehen. Die Verbindung der einzelnen Schichten kann auch durch Aufdampfen sowie durch Reibschweißen erfolgen.

Die drei Schichten können sehr dünn gehalten werden, es sind Abmessungen von ca. 1 mm gesamtintegraler Dicke möglich. Werden nun die drei Schichten 2 und 4 aus Nickel an Nickeldrähten 7 und 8 angeschlossen, so läßt sich an diesen eine Thermospannung  $U$  messen, die einem  $\Delta T$  entspricht, aus welchem wiederum, bei bekannter Geometrie und Wärmeleitzahl des Körpers 1, der Wärmestrom  $Q$  durch den Fühler ermittelt werden kann. Der Wärmestrom  $Q$  kann entweder über eine Eichung in einer Eichvorrichtung gemäß Figur 3 oder aber durch Rechnung ermittelt werden.



2758994

. 10 .

Wichtig ist aber, daß die integrale Wärmeleitzahl des Fühlers 1 über alle Schichten einschließlich seiner Stirnwände der Wärmeleitzahl entspricht, die das aus der Wand 10 für den Einbau des Fühlers 1 entnommene Materialvolumen in etwa aufweisen würde. Der Temperaturverlauf im Fühler ist durch die Linie 11 dargestellt, der Temperaturverlauf der ungestörten Wand durch die Linie 12. Voraussetzung für das Funktionieren des Fühlers ist, daß die Endpunkte 13 und 14 der beiden Linien 11 und 12 zusammenfallen und der Fühlerkörper 1 über seinen Umfang bzw. seinen Mantel 15 (siehe Figur 2) gegenüber der Wand 10 isoliert ist. Diese Isolierung kann aus einem Luftspalt 16 bestehen, der zusätzlich mit Isoliermaterial gefüllt ist.

Ist der Fühlerkörper 1 in dieser Weise ausgebildet, so ist es gleichgültig, welches Temperaturgefälle 17 an der inneren Fühlerschicht 3 auftritt, es wird immer der durch den Fühler in Richtung des Wärmegefälles 18 fließende Wärmestrom 9 bzw.  $Q$  gemessen.

Die Figur zeigt nun schematisch ein Ausführungsbeispiel des Fühlers im Einbauzustand. In die Wandung 10 eines beheizten Stabes, der von einem Kühlmedium 19 gekühlt wird, ist in einem Hohlraum vorzugsweise einer Bohrung, der Fühlerkörper 1 so eingesetzt, daß seine Oberfläche 20 bündig mit der Oberfläche der Wand 10 ist. Der Fühlerkörper 1 besteht aus der Nickel-Chrom-Schicht 3, auf welche stirnseitig die beiden Nickelschichten 2 und 4 aufplattiert sind. Die untere Schicht 4 ist mittels der Nickellotschicht 21 auf die Wandung 10 am Grunde des Hohlraumes bzw. der Bohrung gelötet, so daß eine gute Wärmeverbindung zwischen Fühler und Wand entsteht. Die Mantelfläche 15 ist gegenüber der Wand 10 mittels des Ringspaltes 16 isoliert.

Durch geeignete Wahl der Wärmeleitzahlen der drei Schichten 2, 3 und 4 kann die Gesamtwärmeleitzahl des Fühlers unter Berücksichtigung der Lotschicht 21, des Ringspaltes 16 sowie sonstiger Unstetigkeiten und Inhomogenitäten geometrischer und materialmäßiger Art der Anschlüsse

- 10 -

909827/0473

im Inneren des Fühlerkörpers 1 genau oder möglichst genau der Wärmeleit-  
zahl angepaßt werden, die das ungestörte Material der Wandung 10 auf-  
weisen würden.

Bei der in Figur 2 dargestellten Ausführungsform des Fühlers ist in diesem  
eine hohle Längsbohrung 22 vorgesehen, die mit keramischem Isdier-  
material gefüllt ist. Ein Dreileitermantelthermoelement 26 ist von der  
Seite her in den Körper 1 bis in den Innenraum 21 geführt, welches zwei  
Leiter 23 und 24 aus Nickel und einen weiteren Leiter 25 aus einer Nickel-  
Chrom-Legierung aufweist. Die beiden Nickelleiter 23 und 24 sind in der  
Längsbohrung 22 an die beiden äußeren Nickelschichten 2 und 4 des Fühlers  
angeschlossen, der Nickel-Chrom-Leiter 25 ebenfalls an eine dieser beiden  
Schichten. Dadurch kann eine zusätzliche Temperaturmessung neben der  
Messung des Temperaturgefälles erfolgen, so daß mit dem Fühler auch  
eine Bestimmung der Wärmeübergangszahl vom Rohr 10 auf das Kühl-  
medium 19 möglich ist. Die Zuleitung zu dem Fühler in Form des Thermo-  
elementes 16 kann sowohl nach der Seite als auch nach unten durch die  
Stirnwände des Fühlers erfolgen. Zweckmäßig ist eine seitliche Nut in der  
Wandung 10, die durch Löten verschlossen wird.

Wie bereits erwähnt kann der Wärmestrom im Fühler 1 aus der gemessenen  
Spannung mit Hilfe der Dicke der mittleren Schicht 3, deren Wärmeleit-  
fähigkeit und den Thermospannungen für die verwendeten Materialpaarungen  
berechnet werden. Genauer ist jedoch eine Eichung mit der in der Figur 3  
schematisch dargestellten Eichvorrichtung.

Diese besteht aus einem Vakuumgefäß 30, welches dicht verschlossen ist  
und im Inneren eine Heizung 31 aufweist, die von einem Strahlungsschild  
32 umgeben ist. Innerhalb des Schildes 32 wird auf den Heizstab 31 der  
Fühlerkörper 1 mit seiner unteren Schicht 4 aufgesetzt, die obere Schicht  
2 des Fühlers wird mit einem Stab 33 verbunden, der aus dem Vakuumge-  
fäß 30 nach außen geführt ist und der die vom Heizstab auf den Fühler 1  
übertragene Wärme nach außen hin ableitet. Die Meßleitung 34 des

Fühlers 1 und die Stromzuführung 35 für den Heizstab 31 werden aus dem Gefäß 30 herausgeführt. Durch Verändern der Heizleistung im Heizer 31 sowie durch Kühlung des aus dem Gefäß 30 herausgeführten Stabes 33 kann nun der interessierende Wärmestrom und der Temperaturbereich untersucht bzw. der Fühler 1 genau geeicht werden. Diese Eichung ist besonders wichtig für die spätere Funktion des Fühlers, es muß in der Eichbarkeit desselben ein wichtiger Vorteil der vorliegenden Erfindung gesehen werden.

- 13 -  
Leerseite

THIS PAGE BLANK (USPTO)

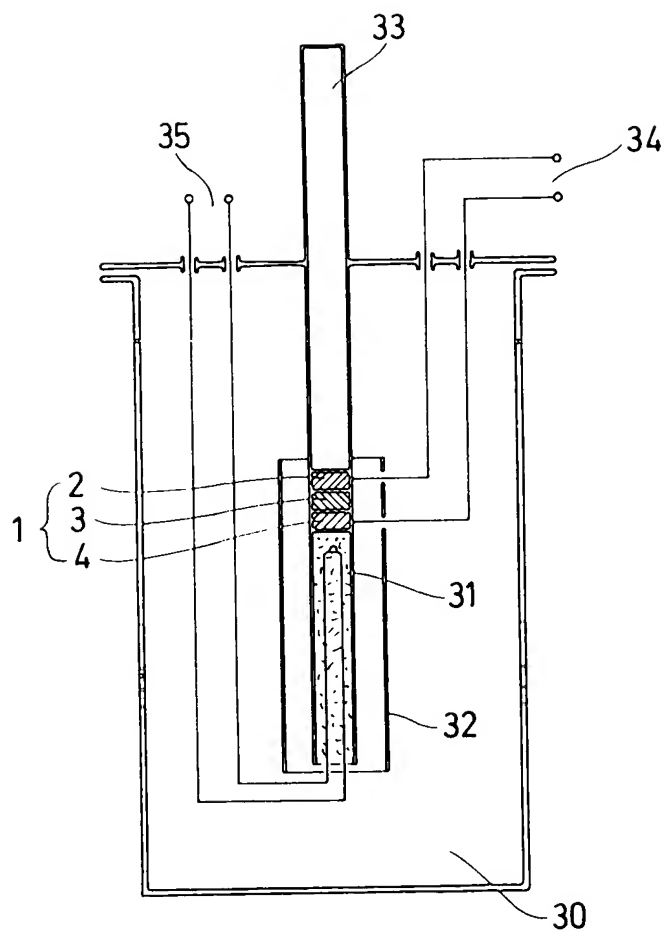
THIS PAGE BLANK (USPTO)



2758994

- 14 -

Fig. 3



909827/0473

2758994

- 15 -

Nummer:  
Int. Cl. 2:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

27 58 934  
G 01 K 17/00  
30. Dezember 1977  
5. Juli 1979

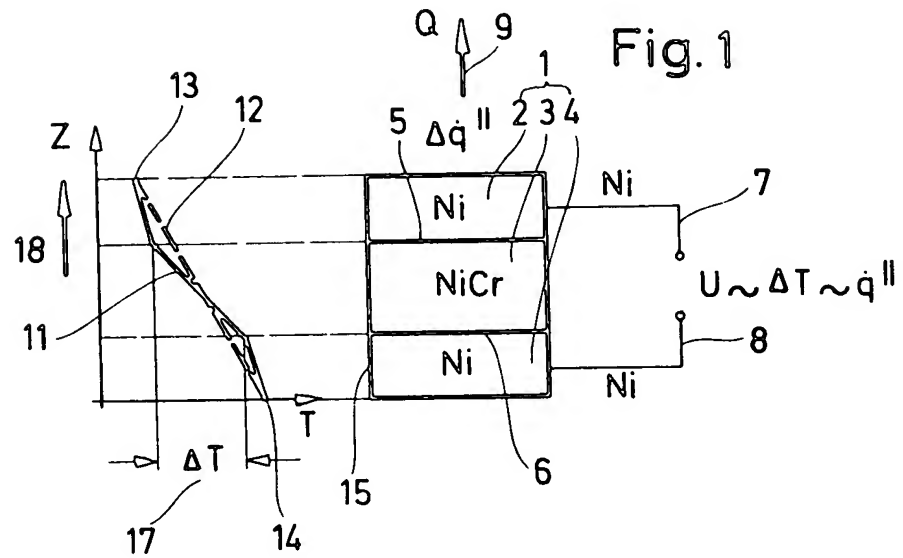
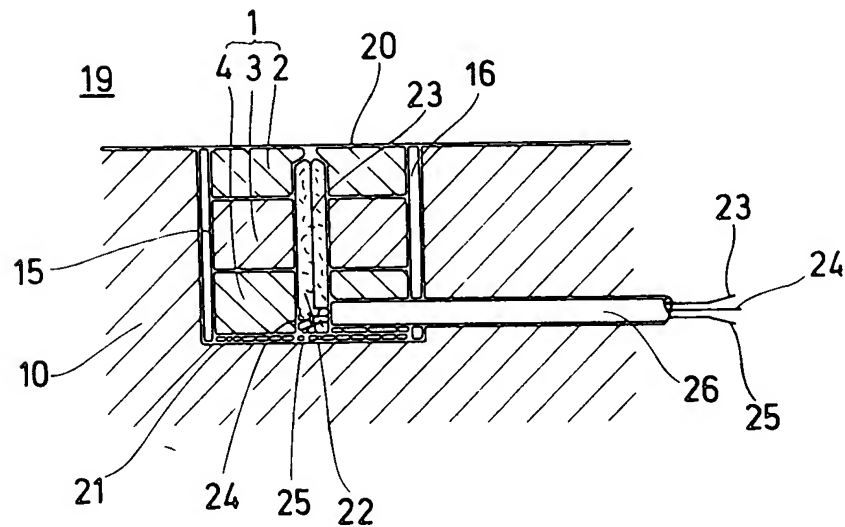


Fig. 2



909827/0473